

城市高层建筑火灾灭火救援技术应用研究

张旭湘

湘潭市岳塘区消防救援大队

DOI:10.12238/jsse.v3i3.14941

[摘要] 高层建筑火灾一直是城市安全体系中最脆弱的环节。随着建筑结构不断拔高、功能日益复杂,传统的灭火与救援方式已难以适应新形势下的挑战。本研究围绕高层建筑火灾的物理化学特征、城市环境中的救援难点、垂直空间对灭火效率的削弱、人员密集造成的疏散瓶颈等方面,系统梳理了现实问题,并对高空供水、新型装备、数字化指挥与特殊战术配合等关键技术路径进行了深入剖析。通过对多个技术方案的对比分析,提出了针对城市高层建筑火灾特点的综合应对策略。研究旨在提供更具系统性和操作性的思路,助力一线救援力量在极限环境中实现精准、高效、低损的火灾处置目标。

[关键词] 高层建筑火灾; 灭火救援; 高空供水; 数字化指挥; 战术配合

中图分类号: TU97 **文献标识码:** A

Research on the Application of Fire Extinguishing and Rescue Technologies in Urban High rise Building Fires

Xuxiang Zhang

Yuetang District Fire Rescue Brigade, Xiangtan City

[Abstract] High rise building fires have always been the most vulnerable link in urban safety systems. With the continuous elevation of building structures and increasing complexity of functions, traditional firefighting and rescue methods are no longer able to adapt to the challenges of the new situation. This study focuses on the physical and chemical characteristics of high-rise building fires, rescue difficulties in urban environments, the weakening of firefighting efficiency caused by vertical space, and evacuation bottlenecks caused by dense personnel. It systematically sorts out practical problems and deeply analyzes key technical paths such as high-altitude water supply, new equipment, digital command, and special tactical coordination. Through comparative analysis of multiple technical solutions, a comprehensive response strategy tailored to the characteristics of urban high-rise building fires has been proposed. The research aims to provide more systematic and operational ideas to assist frontline rescue forces in achieving precise, efficient, and low damage fire disposal goals in extreme environments.

[Key words] high-rise building fire; Fire extinguishing and rescue; High altitude water supply; Digital command; Tactical coordination

引言

而在现代高层建筑中发生的一起高层建筑火灾,则是高规格的城市应急体系建设、作战指挥体系、技术储备的一场大考,其复杂性不仅在建筑本身的复杂性,建筑高,结构封闭,更在于人的高度集中、空间环境资源的高度不均衡。救援领域内部理论与技术之间,始终存在一个裂痕,很多灾难的发生并非是由于缺乏技术,而是现有技术缺乏对现实场景的高度匹配性组合。本文的研究尝试从问题出发,避免概念描述、设备罗列,聚焦现有技术与复杂现实的“真实落地”,探索切实有效、易“落地实施”的灭火救援方式。

1 高层建筑火灾特性与救援背景

1.1 高层建筑火灾的物理化学特征

高大空间防火单元内部空间相对封闭,排烟路径有限,火灾发生后,火场中的可燃气体、有毒气体很容易在竖向管道井等部位快速聚集、发展和扩延;火灾初期由可燃物材质构成的复杂性会同时释放出更多的火灾产物,如聚酯物燃烧后产生的CO、HCN,且这些产物较火源燃烧时而言更容易危害生命;火势的向上发展超出目前所习惯的基于地面建筑的高度与火蔓延速度所能掌握的时间窗口。高大空间内的防火单元多采用节能材质和复合装修形式,在平时可节约能源的同时,在发生火灾时会

导致很高的火释放速率;整个火灾进程中均呈现高温、低能见度、毒性强、蔓延快的特点;消防人员需要在很短的时间内做出可能的灾场风险并进行介入选择。

1.2 现代城市环境对救援的制约条件

随着城镇化的飞速发展,建筑密度加大,楼房建筑之间的间隔距离越来越少,消防登高车、云梯以及供水系统都在城市道路的外部空间里“没有富余”。道路狭窄、交通拥堵、停车问题也严重影响了快速使用这些设备的能力。高层建筑的越高层,常规消防系统能够提供的水压和流量也就越难作用于高层建筑上,因此不管从技术层面或者实际效果来看,往往都需要很高的水压才能快速形成高空用水系统。部分区域因规划本身不够充分,忽略了消防通道以及楼体分隔的作用,形成了“楼中楼”“筒中筒”等设施,大大地限制了外围力量进入的空间。消防不单单是消防力量到达,更重要的是在这个建筑、制度以及环境的现实局限当中寻找出开启有效战术的操作空间和操作方式。

2 当前灭火救援面临的现实挑战

2.1 垂直高度带来的作业限制

随着楼宇越高,每上一层,消防就越难操作。传统的方式用高压水枪、登高平台等在水平方向上一般能够进行30~50m覆盖,在此基础上再往上就需要利用高层楼宇的内部消防设施。由于此时火场切断电源、消防供水系统水压不够或是供水管道中存在堵点等,使得灭火队员只好人工肩背几十公斤重的装置爬楼到达火灾现场附近的楼层,其耗时及人员体能负担都非常严重。在高空的环境中,气压变动加上大风等对施救行动都会造成影响,在数十层高的消防大楼内进行射水、破拆、搜救等均很容易出现偏差。人员在楼层之间在密闭空间进行垂直跨越运动时,缺少垂直方向上的安全避难地点,当出现闪爆或坍塌的时候,难以实现临时回撤。除了物理上和空间上的这些因素以外,“高度”这个词的含义早就已经发生了变化,改变了消防战术的可行性。

2.2 复杂建筑结构导致的搜救困难

一方面,当今建筑物内普遍应用的开放式办公室、灵活性办公空间、室内通道相互沟通等功能设计方式及其内部互通的建筑平面布局满足了日常功能的需要,同时也在建筑设计造型上体现了美感,但在遭遇火灾的情况下,也严重影响了火情搜寻。内部的沟通方式可以是内部天井、楼梯间连廊、复式设计等,一旦有火源的蔓延则可在不同楼层之间跳跃、跳跃式发展,传统的“火点定位”没有了存在基础,消防员一旦进入建筑物内部,首先会迷失空间位置感,特别是在烟热层爆破的瞬时空间当中,很短的时间内无法辨别建筑物墙体、通道及楼梯真实的空间走向;建筑平面与内部布局往往存在偏差,更新也慢或者缺少图册的现象更加常见^[1];技术手段上,红外成像、生命探测仪在空间、高温影响下都会有一定的偏差。对于被困人员来说,他们难以自主走出建筑物的复杂空间;对搜救队员来说,因空间信息、环境信息模糊使寻找速率逐步递减。

2.3 人员密集疏散的时间压力

高层建筑内人员集中度高,尤其在写字楼、商场、酒店等场景中,高峰时段往往存在数百甚至上千人在同一栋建筑内活动。火灾突发时,报警、反应、行动的任何一个环节延迟,都会造成逃生空间的迅速丧失。一旦疏散路线被浓烟封锁或电梯系统失效,人员只能依靠楼梯单向下行,楼梯井一旦拥堵,局部踩踏事故便极易发生^[2]。高层建筑疏散体系在设计之初多数以“逐层”模式进行,一旦中层起火,导致上下同时疏散,必然形成疏导矛盾与交通堵塞。人员心理因素也极大影响逃生效率。恐慌、犹豫、相互干扰,使得有限的安全窗口被快速消耗。

3 城市高层建筑火灾灭火救援技术应用

3.1 高空供水系统的效能分析

高度在100m以上的超高层建筑中,受其本身自带的固定基础设施,如高压泵站、消防电梯水箱和建筑内消火栓等限制,火灾初期如果电力和水路被烧损,则供水平稳可靠性不足,因此地面供水力量很难达到一定的高度,目前高喷车和水罐车大部分都只能在50—70m后失效,超高层中的火灾更缺乏有效地支持水压。城市消防系统在某些情况下以临时叠压供水为技术手段,配合以移动泵站,能够较短时间满足楼层一定高度内供水压力的要求,但同样受限于现场的环境布局、水路与电力的配合等因素,真正的实现连续不断地供水少之又少。而一个供水系统稳定与否,依靠的就是冗余度设计和冗余度响应机制的科学性。所谓“冗余”即不单单只有一条供水之路,而且在建筑设计之初就埋设有多个回路水源和独立控制单元的设计,这一设计在实际运用中并不是很普及^[3]。从资源管理的角度来看,紧急的消防供水不能只局限于某一家单位的控制。我们应该建立区域协作式高空供水平台。目前形式下各地的资源管理都是小块的区域,致使供水时由于区域之间的不协调而造成调用缓慢。我们需要一套关于城市层面的应急供水模型:包括地面临时泵站的储备布署、高空水管冗余的回路设置、消防队和物业联合作业的操作规范。同时,由于高空供水系统的信息反馈滞后,因此其失效状态取决于人工对管道水压和水量的判断;若判断错误,势必影响消防的成效。为此,在系统中加入节点传感器和恒流变压控制模块,并以电子屏即时观测与调压流量压力,确保消防的持续和调度的时间性最小化。

3.2 新型消防装备的适用性研究

近几年来,针对高层建筑火灾的复杂环境特点,一些特种作业装备被提出来并且应用于实验阶段,如移动式高机动履带型机器人、消防高温型飞行无人机、远程遥控喷水炮车等。其中大部分设备均未达到实战效果,实际作战场景的应用广度及持续作战时间均未形成规范标准。现役装备的测试评价多基于装备本身的参数测试,例如水柱的射程、水温耐热标准、遥控操作范围等。而在瞬时火情应急作战环境里,这些参数在实际应急处置中的科学价值难言完美。高层楼宇建筑结构复杂、火场燃烧区常有断层、夹墙、死角等区域,通过单一装备的参数指标无法判断其实战可行性。

3.3 数字化指挥系统的协同机制

建筑高度带来的纵向纵深发展态势以及垂直通道的大量进出,使高层建筑火灾消防救援在指挥系统应激性反应方面和信息真实全面方面达到极限,用常规手段如无线电、目测的方式很难在环境中获取到真正的一手信息,导致作战资源的重复使用、信息脱节甚至矛盾冲突等问题的发生。建立数字化作战指挥系统,才是从根本上提高救援效率与作战协调的根本路线之一。现时阶段,一些城市已开始将建筑BIM模型、GIS地图与作战指挥平台的集成,从实际应用来看,就是对建筑内部的一些行动线路、建筑构造和关键建筑设备进行可视化的呈现,但建筑BIM和GIS地图在现实应用中都是部署在指挥中心内,而不是消防官兵操作端,所以信息的传达从底层的传递就存在一些时差。真正协同的基础必须建立在基于一线端作战终端的可交互体系上,如把前端一线战斗员掌握和动态评估的信息通过一线作战终端以某种交互式方式传送给后端的信息智能中枢;同样,把作战指挥中枢的大脑决策以及指令立即送到一线战斗员的终端作战平台上以供参考。建设前后端协同的作战信息平台,将感知、分析、调度、反馈封装在同一个平台中。数据的采集和分析将决定系统的适配能力,当前火场感知点分布不均、浓烟、高温等因素下感知数据质量急剧下降,导致系统只能靠人工参与对数据进行一定程度上的补充判断。在此基础上引入冗余数据探测机制,如CO探测仪与可见光热成像仪并联使用,对进入的数据交叉验证、比对,提升判断的准确性。指挥系统不止是一个信息平台,更是一种决策机制。整合需纵向到组:火场总指挥、火场后勤、火场撤离、火场救护组等模块各要素间所需的信息必须高度整合,当前普遍存在条块之间系统内数据不能共享,彼此职责不明确的现象,提出以事件为导向的动态任务链,指定每条指令的上下级节点及执行窗口,提升任务点的封闭性。

3.4 特殊环境下的战术配合要点

高层建筑内普遍存在的密闭、无自然采光和排风、动火率高特定环境的火灾,使得惯用的战术相互支撑、互相照应方式难以适用。战术协同是不对称的多队形耦合,并非指各小队的明确分工,是时间、地点、任务逻辑的重新定义。在对生命和安全产生较大威胁、条件复杂、高动态性的环境,传统的以“分段负责、各自为战”为主的战术模式本身就有硬伤,信息传输延迟、

上级指令执行率和回复率偏低、路径冲突概率极高。特殊环境下的战术协同要以动态任务指引为基础,即任务不是一次性的,由信息指令构成,任务是动态变化的模块化行动任务,作战指令可“解构”。以指令下达和执行过程中,在指挥链上“可拆”到每一个人负责、区域划分、器材工具划分的战术“子任务”;同时还具有高“可链”动,能在指挥链条上各个层级做到协同联动,提高火场协同效率。在高层建筑火场中,烟气的蔓延途径、无风竖向通道、关键生命通道控制点(避难层、电梯井)这三种要素的高低战术优先级的确定较为重要。高层火场的战斗人员行动能力下降,协同配合战术应以减少路径冲突为主。如同一条竖向通道内不同时次多个人、物派出,可通过设定路径冲突性预测及调度机制,在预定时间内,提高各小组协同调度使用率,降低冲突性;可以在战术预案确定时,加上“作战通道优待度图”,将通道划分自动并由建筑生成“高优”通行区域及撤防通道。

4 结束语

高层建筑火灾不是孤立的安全命题,而是城市运行系统的结构性问题。面对这个问题,没有一种技术足以构成有效的解决方案。从系统的协同性出发,将各类技术、装备和指挥机制置于一个回应闭环进行比较和优化,是研究的全部工作。在每一项结论的背后,都是认真、务实的权衡,而非想象可能性的简单摆布。未来,高层火灾的处置力量,不再依靠“最先进的技术”,而是取决于各类预案之间的耦合作用、一线使用过程中的兼容性。真正的前进,不是先进技术有多先进,而是最关键5分钟有用没用。

[参考文献]

- [1]冯天印.高层建筑火灾特点及灭火救援技术研究[J].消防界(电子版),2024,10(15):87-89.
- [2]张晨.高层建筑火灾特点及灭火救援策略研究[J].消防界(电子版),2024,10(18):99-101.
- [3]崔云龙.高层建筑火灾灭火救援中云梯消防车的应用探究[J].中国设备工程,2023(2):20-22.

作者简介:

张旭湘(1981--),男,汉族,湖南湘潭人,本科,中级,研究方向为灭火救援。